

FR 2 819 054 A1

Non-Certified English Translation

ABSTRACT

The invention concerns methods for processing a signal emitted by a particle detector. Said methods are characterised in that they consist in: detecting in said signal the portions where the signal is greater than a predetermined value V_1 , measuring the maximum value V_{max} reached by the signal in each of said portions, and associating with each of said portions an analog quantity Q which, at least in a predetermined range of values ΔV_1 of said maximum value V_{max} , is an increasing function of $(V_{max} - V_1)$. The invention is applicable to various devices and appliances implementing said methods.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 819 054

(21) N° d'enregistrement national :

00 17220

(51) Int Cl⁷ : G 01 T 1/24, H 04 N 5/30

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 28.12.00.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la
demande : 05.07.02 Bulletin 02/27.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

(60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

(71) Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE Etablissement de caractère scientifique techni-
que et industriel — FR.

(72) Inventeur(s) : ARQUES MARC.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : RINUY SANTARELLI.

(54) PROCÉDES ET APPAREILS POUR LE TRAITEMENT ANALOGIQUE DU SIGNAL EMIS PAR UN DETECTEUR
DE PARTICULES.

(57) La présente invention concerne des procédés de trai-
tement du signal émis par un détecteur de particules. Selon
ces procédés :

l'on détecte dans ledit signal les portions où le signal est
supérieur à une valeur prédéterminée V_1 ,

l'on mesure la valeur maximale V_{\max} atteinte par le si-
gnal dans chacune desdites portions, et

l'on associe à chacune desdites portions une quantité
analogique Q qui, au moins sur une plage de valeurs prédé-
terminée ΔV_1 de ladite valeur

maximale V_{\max} , est une fonction croissante de $(V_{\max} -$
 $V_1)$.

Application à divers dispositifs et appareils mettant en
oeuvre ces procédés.

FR 2 819 054 - A1



La présente invention concerne l'analyse d'un flux de particules reçu par un détecteur de particules pendant un intervalle donné, par exemple dans le but de compter ces particules ou de mesurer leur énergie. Elle concerne plus particulièrement des procédés d'analyse utilisant un traitement analogique du signal émis par ledit détecteur, ainsi que les dispositifs et appareils destinés à mettre en œuvre ces procédés.

Les détecteurs considérés dans la présente invention sont des détecteurs connus, qu'ils soient de type ponctuel ou matriciel, et quelles que soient les matières, semi-conductrices ou autres, qui les composent. Les signaux émis par ces détecteurs peuvent être soit des courants électriques, soit d'une nature physique pouvant être convertie de manière connue en courant électrique. On supposera simplement que la réception d'une particule par le détecteur déclenche un signal de sortie ayant la forme d'une impulsion d'une certaine largeur et dont l'amplitude maximale est représentative de l'énergie de cette particule.

L'invention s'applique à tout domaine où l'analyse d'un flux de particules, et notamment leur comptage ou la mesure de leur énergie, peut être utile, par exemple, dans le cas où ces particules sont des photons, en radiologie, en fluoroscopie ou en imagerie vidéo. Elle est particulièrement adaptée aux domaines où l'on recherche un procédé de traitement du signal qui, bien qu'étant de haute qualité (au sens où ledit procédé permet des mesures très exactes du flux), utilise pour ce faire un dispositif peu encombrant ; c'est notamment le cas quand ce dispositif est composé non pas d'un détecteur (pixel) unique, mais d'une matrice de pixels, car la taille de l'électronique utilisée est alors limitée par le pas des pixels.

Dans la suite de la description, pour fixer les idées, on parlera de détection de « photons » (c'est à dire de la mesure de caractéristiques d'un rayonnement électromagnétique), mais on se rendra compte que l'invention est totalement indépendante de la nature des particules détectées.

Une cause importante de limitation de la qualité de traitement du signal est le bruit de fond qui est toujours présent dans le courant émis par le détecteur. Ce bruit de fond comprend au moins deux composantes. La

première composante est le « courant d'obscurité », c'est-à-dire le courant fluctuant, d'origine thermique, émis par le détecteur, même quand il ne reçoit pas de photons. La seconde composante est le « courant de traînage », c'est-à-dire le courant fluctuant qui se manifeste pendant un certain temps après la
5 réception d'un photon par le détecteur ; dans les détecteurs utilisant des matières semi-conductrices, ce courant de traînage est notamment dû aux défauts cristallins de ces matières.

Examinons les conséquences de ce bruit de fond sur l'exactitude des mesures effectuées au moyen des procédés connus.

10 Si par exemple on utilise un système de mesure fonctionnant en intégration, au moyen duquel on mesure l'énergie totale du rayonnement reçu par le détecteur pendant une durée prédéterminée, on intègre sur cette durée le courant issu du détecteur. Une représentation fidèle de l'énergie des photons reçus exige alors de prendre en considération tout le courant engendré, y
15 compris les valeurs faibles : l'utilisation d'un seuil de détection de ce courant serait donc nuisible, car causant une perte d'information. Mais le courant mesuré comporte, comme expliqué ci-dessus, une composante due au bruit de fond, à laquelle on ne peut attribuer une valeur exacte en raison des fluctuations dues aux dérives thermiques et au traînage, et en raison du bruit
20 statistique attaché à cette composante. Dans les systèmes connus, on intègre le courant dû au bruit de fond dans la valeur mesurée, et l'on soustrait ensuite, pour obtenir la valeur représentative de l'énergie du rayonnement, une quantité qui n'est qu'une valeur moyenne estimée de l'effet du bruit de fond.

Comme autre exemple, quand on utilise un système de mesure
25 fonctionnant en comptage, au moyen duquel on mesure le nombre de photons d'énergie E supérieure à un seuil E_2 reçus par le détecteur pendant une durée prédéterminée, on déclenche un dispositif adéquat (par exemple une bascule électronique) lorsque le signal dépasse une certaine valeur de seuil correspondant à E_2 , et l'on réarme ledit dispositif lorsque le signal retombe au-
30 dessous de cette valeur de seuil. Rien n'empêche alors, il est vrai, de placer en sortie du détecteur un système de filtrage de la composante continue du bruit de fond. Mais le problème est qu'on ne peut distinguer une montée de courant

due à l'arrivée d'un photon avec la montée de courant engendrée par une fluctuation du bruit de fond, sauf si l'on place ladite valeur de seuil suffisamment haut pour que les fluctuations ne puissent pratiquement jamais la franchir. En outre, dans ces systèmes de mesure classiques, les bascules
5 électroniques ou les dispositifs analogues engendrent des couplages parasites. On ne peut donc en pratique placer ce seuil très bas.

L'invention a donc pour objet des procédés, et des dispositifs relativement compacts mettant en œuvre ces procédés, destinés à diminuer la sensibilité des mesures de flux de particules, d'une part aux fluctuations du
10 bruit de fond présentes dans les signaux émis par les détecteurs, et d'autre part aux perturbations causées par l'électronique de mesure.

Dans ce but, l'invention propose un procédé de traitement du signal produit par un détecteur de particules, ledit procédé étant remarquable en ce que

15 l'on détecte dans ledit signal les portions où le signal est supérieur à une valeur prédéterminée V_1 ,

l'on mesure la valeur maximale V_{\max} atteinte par le signal dans chacune desdites portions, et

l'on associe à chacune desdites portions une quantité analogique Q
20 qui, au moins sur une plage de valeurs prédéterminée ΔV_1 de ladite valeur maximale V_{\max} , est une fonction croissante, par exemple linéairement, de $(V_{\max} - V_1)$.

En effet, l'invention exploite le fait que, dans les détecteurs classiques, le « pic » de chaque impulsion de courant causée par une particule
25 incidente est proportionnel à l'énergie de cette particule, ou du moins représentatif de cette énergie (on suppose pour fixer les idées que ladite impulsion prend des valeurs positives : le lecteur transposera facilement les caractéristiques de l'invention au cas où l'on mesure des valeurs négatives). Le procédé selon l'invention ne prend alors en considération que ce pic (sous la
30 forme de V_{\max}), sans tenir compte de la partie montante et de la partie descendante de chaque impulsion, et encore moins de la valeur du signal entre les impulsions, de sorte que l'effet des fluctuations du bruit de fond n'est

ressenti que pendant la courte durée de ces impulsions, au cours desquelles on effectue les mesures. Il en résulte une amélioration sensible de la qualité des mesures par rapport aux procédés classiques.

En ce qui concerne le choix pratique du seuil de détection V_1 , il est clair que, pour que ce seuillage soit opérant, la valeur de V_1 doit généralement être choisie supérieure au niveau moyen du bruit de fond (ou doit être choisie positive si l'on filtre en sortie du détecteur la composante continue du bruit de fond). Cela étant, plus la valeur de V_1 est élevée, et plus on s'affranchit des fluctuations du bruit de fond. Mais la présence de ce seuil V_1 empêche la détection des photons dont l'énergie (le cas échéant) est inférieure à l'énergie E_1 associée à une impulsion de tension culminant à V_1 ; par conséquent, plus la valeur de V_1 sera élevée, et plus grande sera la bande d'énergie pour laquelle des photons d'énergie appartenant à cette bande ne pourront pas être détectés. La valeur de V_1 devra donc être choisie judicieusement, sur ces bases, en fonction de l'application considérée.

La variation selon l'invention de la quantité analogique Q sur la plage de valeurs ΔV_1 permet naturellement de prendre en compte les variations d'énergie des photons reçus, et cela d'une manière qui peut être différente d'une application à l'autre de l'invention. Par exemple, en photométrie, on pourra préférer un comportement linéaire de la quantité analogique Q en fonction de l'énergie E du photon. Pour le comptage de photons, la fonction croissante (mais pas nécessairement linéaire) $Q(E)$ permet de mettre en place un « seuillage progressif » autour d'une énergie prédéterminée, comme expliqué plus bas.

Selon des caractéristiques particulières de l'invention, on associe à chacune desdites portions une quantité analogique Q qui

est une fonction croissante, par exemple linéaire, de $(V_{\max} - V_1)$ si la valeur maximale V_{\max} est inférieure à une deuxième valeur prédéterminée V_2 , et

reste constante à sa valeur pour $V_{\max} = V_2$ si la valeur maximale V_{\max} est supérieure à cette deuxième valeur V_2 , au moins sur une plage de valeurs prédéterminée ΔV_2 de ladite valeur maximale V_{\max} .

Ces caractéristiques particulières sont très avantageuses quand on applique l'invention au comptage de photons, qui consiste, on le rappelle, à mesurer le nombre de photons d'énergie E supérieure à un seuil E_2 reçus par le détecteur pendant une durée prédéterminée. En effet, l'on associera alors à
5 tout photon d'énergie E comprise entre E_1 et E_2 une quantité analogique Q proportionnelle à $(E - E_1)$, et l'on associera à tout photon d'énergie E supérieure à E_2 une quantité analogique Q_2 proportionnelle à $(E_2 - E_1)$. On met en place de la sorte un seuillage progressif autour de $E = E_2$.

Il peut être noté que ce seuillage progressif a comme avantage, par
10 rapport à un seuillage très brutal, de permettre de tenir compte de pics dont l'énergie réelle est minimisée par un niveau instantané particulièrement bas du bruit de fond : en effet, la probabilité pour qu'une particule dont l'énergie apparente (telle que détectée) est inférieure au seuil de comptage que l'on s'est fixé ait tout de même une énergie réelle supérieure à ce seuil est d'autant
15 plus forte que l'écart entre cette énergie apparente et ce seuil de comptage est faible. Ce seuillage progressif peut donc être compris comme l'application à l'énergie apparente des pics observés d'un coefficient de vraisemblance d'autant plus proche de 1 que cette énergie apparente est proche de E_2 . En réalité le seuil de comptage (au dessus duquel on veut caractériser les
20 particules) est inférieur à E_2 (mais il n'est pas nécessaire de le connaître) dans la mesure où il peut y avoir aussi des pics d'énergie apparente supérieure à leur énergie réelle en raison d'un niveau instantané particulièrement haut du bruit de fond : selon cette approche, E_2 est le niveau d'énergie pour lequel on estime pouvoir être sûr qu'il s'agit bien, indépendamment de la valeur
25 instantanée du bruit de fond, d'une particule ayant une énergie réelle au moins égale au seuil de comptage précité.

Ce seuillage progressif permet en outre de tenir compte de ce que, dans l'analyse d'un phénomène physique, la transition en énergie entre les particules significatives et celles qui ne le sont pas n'est pas nécessairement
30 brutale, les particules d'énergie proche du seuil pouvant contribuer au phénomène que l'on cherche à caractériser ; le seuillage progressif peut alors

s'analyser comme l'affectation d'un coefficient d'efficacité des pics d'autant plus proche de 1 que le niveau d'énergie est proche de E_2 .

Ces deux approches peuvent bien sûr se combiner, et le choix des seuils et de la pente de la portion croissante permet de tenir compte au mieux de ce que l'on veut caractériser ; ce choix peut se faire par exemple suite à des tests effectués dans des conditions précisément connues. Il faut bien comprendre ici que la forme linéaire d'une telle courbe croissante est particulièrement pratique, notamment en raison du faible nombre de coefficients à choisir, mais que d'autres formes sont possibles, pour tenir compte au mieux des résultats que l'on attend du seuillage progressif

Ce seuillage progressif permet de disposer le niveau au-dessus duquel on mesure le signal très près du niveau du bruit de fond : en effet, on applique aux pics faibles un coefficient de vraisemblance faible mais non nul tenant compte de la probabilité de ce que ce pic faible soit représentatif non pas d'une fluctuation du bruit de fond mais d'une particule dont on souhaite tenir compte.

On voit donc que, par rapport aux procédés classiques, l'invention permet avantageusement de compter des photons avec une grande exactitude même quand l'énergie E_2 est très basse. Un avantage supplémentaire est l'absence de signaux parasites du type de ceux engendrés, dans les compteurs classiques à bascule, par les commutations de cette bascule associées à l'incrémentation du compteur.

Selon des caractéristiques encore plus particulières de l'invention, on associe à chacune desdites portions une quantité analogique Q qui est une fonction croissante de $(V_{\max} - V_1)$ si la valeur maximale V_{\max} est inférieure à une deuxième valeur prédéterminée V_2 ,

reste constante à sa valeur pour $V_{\max} = V_2$ si la valeur maximale V_{\max} est comprise entre cette deuxième valeur V_2 et une troisième valeur prédéterminée V_3 , et

est une fonction décroissante de V_{\max} si la valeur maximale V_{\max} est supérieure à cette troisième valeur V_3 , au moins sur une plage de valeurs prédéterminée ΔV_3 de ladite valeur maximale V_{\max} .

Grâce à ces dispositions, on pourra obtenir notamment une fonction $Q(E)$ en forme de dent, ou bien approchant une Gaussienne. On pourra ainsi privilégier, dans le rayonnement reçu, les photons appartenant à une bande relativement étroite d'énergie, ces photons étant particulièrement significatifs

5 dans le cadre de l'application envisagée.

Selon un autre aspect, l'invention concerne divers dispositifs.

Elle concerne ainsi, premièrement, un dispositif de traitement du signal produit par un détecteur de particules, ledit dispositif comprenant

- une unité de conversion capable de transformer toute impulsion de courant issue dudit détecteur en une impulsion de tension V ,

10

- un circuit analogique comportant un réservoir de charges électriques D_3 ,

un premier récepteur de charges électriques D_1 pouvant être alimenté par ledit réservoir de charges D_3 de manière commandable au moyen de ladite tension V , et

15

un second récepteur de charges électriques D_2 pouvant lui aussi être alimenté par ledit réservoir de charges D_3 de manière commandable au moyen de ladite tension V , et

- un appareil de mesure de la charge électrique Q contenue dans ledit second récepteur de charges D_2 ,

20

ledit circuit analogique étant conçu de manière à ce que chaque impulsion de tension V produise successivement au sein dudit dispositif les effets suivants :

ledit réservoir de charges D_3 est isolé dudit premier récepteur de charges D_1 ,

le réservoir de charges D_3 est connecté audit second récepteur de charges D_2 quand la tension V dépasse une valeur prédéterminée V_1 ,

25

il passe de D_3 à D_2 une charge électrique Q qui est une fonction croissante de $(V - V_1)$,

la connexion entre D_3 et D_2 est coupée quand la tension V commence à décroître après avoir atteint une valeur maximale V_{\max} , et

30

D_3 est reconnecté à D_1 qui restaure dans D_3 la charge Q perdue.

L'invention concerne aussi, deuxièmement, un dispositif de traitement du signal produit par un détecteur de particules, ledit dispositif comprenant

- une unité de conversion capable de transformer toute impulsion de courant issue dudit détecteur en une impulsion de tension V ,

- un circuit analogique comportant un réservoir de charges M_2 , un premier récepteur de charges électriques D_1 pouvant être alimenté par ledit réservoir de charges M_2 de manière commandable au moyen de ladite tension V , et

un second récepteur de charges électriques D_2 pouvant lui aussi être alimenté par ledit réservoir de charges M_2 de manière commandable au moyen de ladite tension V , et

- un appareil de mesure de la charge électrique Q contenue dans ledit second récepteur de charges D_2 , ledit circuit analogique étant conçu de manière à ce que chaque impulsion de tension V produise successivement au sein dudit dispositif les effets suivants :

ledit réservoir de charges M_2 est isolé dudit premier récepteur de charges D_1 ,

le réservoir de charges M_2 est connecté audit second récepteur de charges D_2 quand la tension V dépasse une première valeur prédéterminée V_1 ,

il passe de M_2 à D_2 une charge électrique Q proportionnelle à $(V - V_1)$ si la tension V ne dépasse pas une deuxième valeur prédéterminée V_2 , ou proportionnelle à $(V_2 - V_1)$ si la tension V dépasse ladite deuxième valeur V_2 ,

la connexion entre M_2 et D_2 est coupée quand la tension V commence à décroître après avoir atteint une valeur maximale V_{\max} , et

M_2 est reconnecté à D_1 qui restaure dans M_2 la charge Q perdue.

L'invention concerne aussi, troisièmement, un dispositif de traitement du signal produit par un détecteur de particules, ledit dispositif étant remarquable en ce qu'il comprend deux circuits analogues à celui décrit succinctement pour le deuxième dispositif, et recevant tous deux l'impulsion de tension V issue d'une unité de conversion, les paramètres de ces deux circuits

étant réglés indépendamment l'un de l'autre, et un soustracteur analogique capable de produire un signal de sortie équivalent à la différence Q entre les charges analogiques respectives Q' et Q'' transférées sur les seconds récepteurs de charge respectifs D'_2 et D''_2 contenus dans lesdits circuits.

5 Enfin, l'invention concerne, quatrièmement, un dispositif de traitement des signaux produits par un ensemble de détecteurs de particules, ledit dispositif étant remarquable en ce qu'au moins l'un de ces signaux est traité au moyen d'un dispositif tel que ceux décrits succinctement ci-dessus.

 Pour chacun de ces dispositifs, les mesures s'effectuent en
10 prélevant et lisant, à des moments prédéterminés, cette quantité analogique Q . Comme elle dépend de V_{\max} , elle représente bien l'énergie du photon à l'origine de l'impulsion. En particulier, pour compter les photons reçus depuis la mesure précédente, il suffit de diviser Q par Q_2 .

 Les avantages offerts par ces dispositifs sont donc essentiellement
15 les mêmes que ceux offerts par les procédés selon l'invention, mais on notera de surcroît qu'ils peuvent facilement être réalisés au moyen de composants à semi-conducteurs classiques, comme on le montrera dans la description détaillée ci-dessous, d'où le faible encombrement de ces dispositifs, ainsi qu'un faible coût de construction. Ces qualités résultent notamment du fait que le
20 traitement selon l'invention du signal issu du détecteur est purement analogique. Naturellement, dans certaines applications, il pourra s'avérer utile de connecter à un dispositif selon l'invention un convertisseur analogique-numérique pour pouvoir traiter numériquement les informations obtenues, surtout si les contraintes de coût et d'encombrement sont secondaires dans le
25 cadre de l'application envisagée.

 Enfin, l'invention vise divers appareils d'analyse d'un flux de particules incorporant au moins un dispositif tel que ceux décrits succinctement ci-dessus.

 D'autres aspects et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture
30 de la description détaillée, que l'on trouvera ci-dessous, de modes particuliers de réalisation donnés à titre d'exemples non limitatifs. Cette description se réfère aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 représente de façon schématique un dispositif conforme à un premier mode de réalisation de l'invention,

- les figures 2a à 2d représentent les étapes principales du fonctionnement du dispositif illustré sur la figure 1,

5 - la figure 3 représente de façon schématique la relation existant entre l'énergie E d'un photon incident et la quantité analogique Q qui lui est associée, quand on utilise le dispositif illustré sur la figure 1,

- la figure 4 représente de façon schématique un dispositif conforme à un deuxième mode de réalisation de l'invention,

10 - les figures 5 et 6 représentent les étapes principales du fonctionnement du dispositif illustré sur la figure 4,

- la figure 7 représente de façon schématique la relation existant entre l'énergie E d'un photon incident et la quantité analogique Q qui lui est associée, quand on utilise le dispositif illustré sur la figure 4,

15 - la figure 8 représente de façon schématique un dispositif conforme à un troisième mode de réalisation de l'invention, et

- les figures 9a à 9d représentent de façon schématique la relation existant entre l'énergie E d'un photon incident et la quantité analogique Q qui lui est associée, quand on utilise le dispositif illustré sur la figure 8 selon quatre réglages différents présentés ici à titre d'exemples.

20 La **figure 1** représente, selon un premier mode de réalisation de l'invention, un dispositif 100 destiné à traiter les signaux émis par un détecteur de photons 2.

25 Ce détecteur 2 émet, en réponse à l'arrivée d'un photon sur sa surface réceptrice, une impulsion de courant I . Selon l'invention, on convertit d'abord cette impulsion de courant I en une impulsion de tension V à l'aide d'une unité adéquate classique 1.

30 Le signal résultant est ensuite, optionnellement, débarrassé de sa composante continue à l'aide d'une unité de filtrage classique 5. On rappelle que cette composante continue correspond à la valeur moyenne du courant d'obscurité et du courant de traînage sortant du détecteur 2, quel que soit ce détecteur.

Le signal est alors traité par le circuit analogique 3. L'impulsion de tension V est directement appliquée à une zone de diffusion D_1 , qui joue ici le rôle de récepteur de charges électriques, et à la grille d'un transistor « MOS » (initiales de « Métal-Oxyde-Semi-conducteur ») M_3 . Plus précisément, dans le mode de réalisation représenté, on a choisi pour M_3 un transistor de type « NMOS », c'est-à-dire à conduction par électrons ; le potentiel de canal en surface V^* de M_3 est donc ici inférieur à V d'une certaine quantité ε .

Entre M_3 et D_1 , on trouve une autre zone de diffusion D_3 , qui joue le rôle de réservoir de charges, et un autre transistor NMOS M_1 , dont la grille est maintenue à un potentiel fixe V_1 ; le potentiel de canal V_1^* de M_1 est inférieur à V_1 d'une quantité proche de ε .

On trouve enfin, après le transistor M_3 , une dernière zone de diffusion D_2 , qui est destinée à recevoir la charge analogique Q selon l'invention.

Pour effectuer une mesure, on porte pendant un bref instant cette zone de diffusion D_2 à un potentiel fixe prédéterminé V_R (en fermant puis en ouvrant l'interrupteur S). La charge Q accumulée dans D_2 engendre alors une variation de tension qui est lue par un appareil de mesure 6 (par exemple un condensateur avec voltmètre, ou un galvanomètre balistique) délivrant le signal de sortie du dispositif V_{out} .

La figure 2 représente les étapes principales du fonctionnement du dispositif illustré sur la figure 1, en montrant de manière schématique, pour chaque étape, la relation entre les potentiels de D_1 , D_2 , D_3 , et des canaux de M_1 et M_3 , dans le cas où l'on choisit la valeur de V_1 de telle manière que la valeur de $V_1^* = V_1 - \varepsilon$ soit supérieure à la valeur moyenne du bruit de fond, dans le dispositif 100 sans unité de filtrage 5 (ou soit positive, si on incorpore une telle unité 5).

La figure 2a montre les valeurs de ces potentiels en l'absence d'impulsion provenant du détecteur 2. On voit notamment que les charges situées dans D_3 peuvent se déverser dans D_1 , mais pas dans D_2 , en raison de la barrière de potentiel présentée par le canal de M_3 .

Suite à la réception d'un photon par le détecteur (ou du fait d'une fluctuation du bruit de fond), les potentiels de D_1 (à savoir V) et de M_3 (à savoir $V^* = V - \epsilon$) augmentent de conserve. Si l'impulsion est suffisamment forte, on atteint l'étape illustrée sur la figure 2b, où la communication entre D_3 et D_1 se coupe.

Si l'impulsion est suffisamment forte, on atteint ensuite l'étape illustrée sur la figure 2c, où les charges contenues dans D_3 peuvent commencer à se déverser dans D_2 . La quantité de charges ainsi déversée pour une tension V donnée dépend de la capacité parasite de D_3 .

Quand l'impulsion V atteint son maximum V_{\max} (figure 2d), la charge déversée sur D_2 a atteint une certaine valeur Q .

La tension V décroît ensuite, et M_3 forme immédiatement une barrière de potentiel entre D_3 et D_2 , de sorte qu'il ne se déverse pas de charge supplémentaire sur D_2 . La charge Q conserve donc bien la valeur qu'elle avait acquise au pic de l'impulsion.

L'on revient enfin dans la situation de la figure 2a jusqu'à l'arrivée d'une nouvelle impulsion. On veillera, compte tenu de la fréquence pratique d'arrivée des photons, à ce que la recharge de D_3 à partir de D_1 soit suffisamment rapide pour que le dispositif soit prêt pour cette nouvelle impulsion.

La **figure 3** montre l'allure de la fonction $Q(E)$ (où E est l'énergie du photon incident à l'origine de l'impulsion de tension V) associée au dispositif 100. Cette courbe $Q(E)$ se caractérise par un seuil de détection E_1 correspondant à une impulsion de tension dont le pic V_{\max} est égal à la tension V_1 . On observe ensuite une portion croissante, au moins sur une bande d'énergie des photons ΔE_1 correspondant à une plage de valeurs ΔV_1 de V sur laquelle le circuit 3 se comporte fidèlement de la manière décrite ci-dessus.

Au cas où il importe, pour l'application envisagée, de disposer d'une croissance linéaire, on pourra, par exemple, remplacer la zone de diffusion D_3 par un transistor NMOS dont la grille sera polarisée à un potentiel supérieur à la plus grande valeur attendue pour V_{\max} ; ou bien on pourra connecter à la

zone de diffusion D_3 l'armature d'un condensateur dont l'autre armature est polarisée à un potentiel fixe.

La **figure 4** représente, selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, un dispositif 200 destiné à traiter les signaux émis par un détecteur
5 de photons 2.

Ce dispositif 200 ne diffère du dispositif 100, et plus précisément le circuit 7 ne diffère du circuit 3, que par le remplacement de la zone de diffusion D_3 par un transistor NMOS M_2 , dont la grille est portée à un potentiel fixe V_2 .

La **figure 5** représente les étapes principales du fonctionnement du
10 dispositif illustré sur la figure 4, pour un photon dont l'énergie E est inférieure à E_2 , où E_2 correspond à une impulsion de tension dont le pic V_{\max} est égal à la tension V_2 .

Le fonctionnement du dispositif dans ce cas est tout à fait analogue au fonctionnement décrit en référence à la figure 2. Il est vrai que dans le
15 présent dispositif, quand E est supérieure à E_1 (la valeur qui correspond à une impulsion de tension dont le pic V_{\max} est égal à la tension V_1), on atteint un stade (à partir de la figure 5b) où l'on isole une certaine charge Q_2 dans le canal de M_2 , ce qui n'était pas le cas avec le dispositif de la figure 1 ; mais la valeur de cette charge Q_2 n'a aucun effet sur le fonctionnement du présent
20 dispositif si E est inférieure à E_2 .

Examinons donc, à l'aide de la **figure 6**, les étapes principales du fonctionnement du dispositif 200 pour un photon dont l'énergie E est supérieure à ladite valeur E_2 .

Les étapes 6a à 6c sont identiques aux étapes respectives 5a à 5c.
25 Ensuite la charge Q_2 se déverse comme précédemment de M_2 vers D_2 , mais, quand V continue à croître, on atteint un stade ($V^* > V_2^*$, où $V_2^* = V_2 - \varepsilon$, et donc $V > V_2$) où cette charge est épuisée. Quand donc la tension V atteint son maximum V_{\max} (figure 6d), la charge déposée dans D_2 est égale à Q_2 indépendamment de la valeur de ce maximum (supposé supérieur à V_2).

30 Le retour à l'état initial (figure 6a) est analogue au retour à l'état initial dans les dispositifs précédents.

La **figure 7** montre l'allure de la fonction $Q(E)$ associée au dispositif 200.

Cette courbe $Q(E)$ se caractérise par un seuil de détection E_1 , suivi d'une portion croissante dont la pente est déterminée par la capacité de M_2 .

- 5 Ensuite, la fonction reste constante à la valeur $Q_2 = Q(E_2)$, au moins sur une bande d'énergie des photons ΔE_2 correspondant à une plage de valeurs ΔV_2 de V au-dessus de V_2 , sur laquelle le circuit 7 se comporte fidèlement de la manière décrite ci-dessus.

- La **figure 8** représente, selon un troisième mode de réalisation de
10 l'invention, un dispositif 300 destiné à traiter les signaux émis par un détecteur de photons 2.

- Ce dispositif 300 comprend, outre une unité de conversion du courant en tension 1 et (optionnellement) une unité de filtrage 5, deux circuits 7' et 7'' fonctionnellement analogues au circuit 7 du dispositif 200. Les charges Q' et Q'' cumulées respectivement sur D'_2 et D''_2 produisent, après mesure dans
15 les unités 6' et 6'', des signaux de sortie respectifs V_{out} et V'_{out} qui sont envoyés vers un soustracteur analogique 4, de sorte que le signal de sortie du dispositif 300 est $V_{out} = V_{out} - V'_{out}$.

- Les **figures 9a à 9d** montrent l'allure de la fonction $Q(E)$ (où Q est ici
20 définie comme étant égale à $(Q' - Q'')$) associée au dispositif 300, pour différentes valeurs de V'_1 , V'_2 , Q'_2 , V''_1 , V''_2 , et Q''_2 .

- Dans le cas de la figure 9a, on prend pour Q'_2 et Q''_2 une valeur commune (appelée Q_0), et des capacités égales pour M'_2 et M''_2 (de manière à obtenir des pentes égales dans la partie croissante des fonctions $Q'(E)$ et
25 $Q''(E)$), et de plus : $V''_1 = V'_2$. On obtient alors une courbe $Q(E)$ triangulaire.

On peut souhaiter élargir le sommet de cette courbe, de manière à ce qu'elle ressemble plus à une dent, ou à une Gaussienne. Pour ce faire (figure 9b), il suffit de prendre $V''_1 > V'_2$.

- En prenant Q'_2 supérieure à Q''_2 (figure 9c), on obtient un créneau
30 qui maintient une valeur non nulle de Q au-delà de $E = E'_2$.

En prenant des capacités différentes pour M'_2 et M''_2 (figure 9d), on obtient des pentes asymétriques pour la partie croissante et la partie décroissante de $Q(E)$.

Sur la base de ces quelques exemples, l'homme du métier saura aisément choisir parmi les nombreux réglages de paramètres possibles afin d'obtenir la fonction $Q(E)$ souhaitable en fonction de l'application considérée, parmi une large gamme de formes fonctionnelles possibles.

Par ailleurs, il va de soi que les dispositifs illustrés sur les figures 1, 4 et 7 sont des exemples délibérément simples de réalisations capables de fournir les fonctions $Q(E)$ illustrées respectivement sur les figures 3, 7 et 9. En pratique, l'homme du métier saura les modifier selon des techniques connues, pour y apporter des avantages secondaires tels que l'insensibilité aux bruits parasites, une vitesse de transfert des charges à travers le dispositif qui soit suffisamment rapide, ou la stabilité des sources de courant, amplificateurs ou transformateurs utilisés.

De plus, pour fixer les idées, on a fait, dans la description ci-dessus, l'hypothèse que l'impulsion de tension en sortie du convertisseur courant/tension est positive. Dans le cas d'impulsions négatives, l'homme du métier saura sans peine adapter les dispositifs décrits, par exemple en remplaçant les transistors NMOS par des transistors « PMOS » (à conduction par trous).

On a décrit ci-dessus l'invention en faisant référence à la charge analogique Q cumulée sur un détecteur qui peut être soit un détecteur unique, soit un pixel individuel au sein d'un détecteur multipixels, c'est-à-dire constitué d'une matrice ou d'une barrette de pixels.

Dans le cas d'un détecteur multipixel, rien n'empêche bien sûr, en cas de besoin, de sommer les charges analogiques cumulées sur plusieurs de ces pixels. Cette sommation offre par exemple un avantage particulier dans le cas du comptage, si l'on suppose que l'énergie des photons à compter est, comme c'est souvent le cas, comprise dans une bande relativement étroite située légèrement au-dessus d'un seuil de comptage E_2 . La présente invention permet alors de corriger les erreurs de comptage qui pourraient résulter du fait

qu'un certain photon arrive entre deux pixels (ce qui engendre en sortie de chaque pixel des signaux I_1 et I_2 dont la somme est égale au signal I qui aurait été engendré si ledit photon était arrivé à l'intérieur d'un seul pixel).

En effet, si l'on utilise un dispositif classique, aucun de ces deux
5 signaux I_1 et I_2 ne sera suffisant pour déclencher le compteur associé au pixel respectif, de sorte que ledit photon ne sera pas comptabilisé. En revanche, si l'on utilise un dispositif selon l'invention, on enregistrera une quantité analogique Q_1 proportionnelle à I_1 , et une quantité analogique Q_2 proportionnelle à I_2 , de sorte que la somme $Q = Q_1 + Q_2$ sera à peu près égale
10 à Q_2 , et ce photon sera correctement comptabilisé.

On notera pour terminer que la présente invention peut être considérée dans son ensemble d'un autre point de vue que celui présenté dans l'introduction. En effet, les multiples exemples présentés en détail ci-dessus illustrent le fait que le traitement du signal selon l'invention conduit à une
15 charge analogique Q qui représente, d'une manière prédéterminée, l'énergie E des photons incidents. Autrement dit, la fonction $Q(E)$ joue le rôle d'une « fonction de pondération » au moyen de laquelle on peut attribuer, en cas de besoin, un « poids » différent à chaque photon selon son énergie. On a aussi montré, dans le cas des fonctions de pondération présentées, comment les
20 obtenir concrètement au moyen de dispositifs utilisant des composants électroniques analogiques classiques. L'homme du métier saura, en s'inspirant de ces exemples, mettre au point un dispositif adéquat pour obtenir essentiellement toute fonction de pondération souhaitable en fonction de l'application envisagée, ou même un dispositif offrant des possibilités de
25 réglage permettant d'obtenir diverses formes de courbes de pondération adéquates pour une gamme d'applications envisagées.

REVENDECATIONS

1. Procédé de traitement du signal émis par un détecteur de
5 particules, caractérisé en ce que

l'on détecte dans ledit signal les portions où le signal est supérieur à
une valeur prédéterminée V_1 ,

l'on mesure la valeur maximale V_{\max} atteinte par le signal dans
chacune desdites portions, et

10 l'on associe à chacune desdites portions une quantité analogique Q
qui, au moins sur une plage de valeurs prédéterminée ΔV_1 de ladite valeur
maximale V_{\max} , est une fonction croissante de $(V_{\max} - V_1)$.

2. Procédé de traitement du signal selon la revendication 1,
caractérisé en ce que la valeur de V_1 est au moins égale au niveau moyen du
15 bruit de fond présent dans le signal émis par le détecteur.

3. Procédé de traitement du signal selon la revendication 1 ou la
revendication 2, caractérisé en ce que, sur ladite plage ΔV_1 de valeurs de V_{\max} ,
ladite quantité analogique Q est proportionnelle à $(V_{\max} - V_1)$.

4. Procédé de traitement du signal selon la revendication 1 ou la
20 revendication 2, caractérisé en ce que l'on associe à chacune desdites portions
une quantité analogique Q qui

est une fonction croissante de $(V_{\max} - V_1)$ si la valeur maximale V_{\max}
est inférieure à une deuxième valeur prédéterminée V_2 , et

reste constante à sa valeur pour $V_{\max} = V_2$ si la valeur maximale V_{\max}
25 est supérieure à cette deuxième valeur V_2 , au moins sur une plage de valeurs
prédéterminée ΔV_2 de ladite valeur maximale V_{\max} .

5. Procédé de traitement du signal selon la revendication 3 et la
revendication 4, caractérisé en ce que l'on associe à chacune desdites portions
une quantité analogique Q qui

30 est proportionnelle à $(V_{\max} - V_1)$ si la valeur maximale V_{\max} est
inférieure à une deuxième valeur prédéterminée V_2 , et

reste constante à sa valeur pour $V_{\max} = V_2$ si la valeur maximale V_{\max} est supérieure à cette deuxième valeur V_2 , au moins sur une plage de valeurs prédéterminée ΔV_2 de ladite valeur maximale V_{\max} .

6. Procédé de traitement du signal selon la revendication 4,
 5 caractérisé en ce que l'on associe à chacune desdites portions une quantité analogique Q qui

est une fonction croissante de $(V_{\max} - V_1)$ si la valeur maximale V_{\max} est inférieure à une deuxième valeur prédéterminée V_2 ,

- reste constante à sa valeur pour $V_{\max} = V_2$ si la valeur maximale V_{\max}
 10 est comprise entre cette deuxième valeur V_2 et une troisième valeur prédéterminée V_3 , et

est une fonction décroissante de V_{\max} si la valeur maximale V_{\max} est supérieure à cette troisième valeur V_3 , au moins sur une plage de valeurs prédéterminée ΔV_3 de ladite valeur maximale V_{\max} .

7. Procédé de traitement du signal selon l'une quelconque des
 15 revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdites particules sont des photons.

8. Dispositif (100) de traitement du signal produit par un détecteur de particules (2), comprenant

- 20 - une unité de conversion (1) capable de transformer toute impulsion de courant issue dudit détecteur (2) en une impulsion de tension V ,

- un circuit analogique (3) comportant

un réservoir de charges électriques D_3 ,

- un premier récepteur de charges électriques D_1 pouvant être alimenté
 25 par ledit réservoir de charges D_3 de manière commandable au moyen de ladite tension V , et

un second récepteur de charges électriques D_2 pouvant lui aussi être alimenté par ledit réservoir de charges D_3 de manière commandable au moyen de ladite tension V , et

- 30 - un appareil de mesure (6) de la charge électrique Q contenue dans ledit second récepteur de charges D_2 ,

ledit circuit analogique (3) étant conçu de manière à ce que chaque impulsion de tension V produise successivement au sein dudit dispositif les effets suivants :

5 ledit réservoir de charges D_3 est isolé dudit premier récepteur de charges D_1 ,

le réservoir de charges D_3 est connecté audit second récepteur de charges D_2 quand la tension V dépasse une valeur prédéterminée V_1 ,

il passe de D_3 à D_2 une charge électrique Q qui est une fonction croissante de $(V - V_1)$,

10 la connexion entre D_3 et D_2 est coupée quand la tension V commence à décroître après avoir atteint une valeur maximale V_{\max} , et

D_3 est reconnecté à D_1 qui restaure dans D_3 la charge Q perdue.

9. Dispositif (200) de traitement du signal produit par un détecteur de particules (2), comprenant

15 - une unité de conversion (1) capable de transformer toute impulsion de courant issue dudit détecteur (2) en une impulsion de tension V ,

- un circuit analogique (7) comportant

un réservoir de charges M_2 ,

20 un premier récepteur de charges électriques D_1 pouvant être alimenté par ledit réservoir de charges M_2 de manière commandable au moyen de ladite tension V , et

un second récepteur de charges électriques D_2 pouvant lui aussi être alimenté par ledit réservoir de charges M_2 de manière commandable au moyen de ladite tension V , et

25 - un appareil de mesure (6) de la charge électrique Q contenue dans ledit second récepteur de charges D_2 ,

ledit circuit analogique (7) étant conçu de manière à ce que chaque impulsion de tension V produise successivement au sein dudit dispositif les effets suivants :

30 ledit réservoir de charges M_2 est isolé dudit premier récepteur de charges D_1 ,

le réservoir de charges M_2 est connecté audit second récepteur de charges D_2 quand la tension V dépasse une première valeur prédéterminée V_1 ,

il passe de M_2 à D_2 une charge électrique Q proportionnelle à $(V - V_1)$ si la tension V ne dépasse pas une deuxième valeur prédéterminée V_2 ,
5 ou proportionnelle à $(V_2 - V_1)$ si la tension V dépasse ladite deuxième valeur V_2 ,

la connexion entre M_2 et D_2 est coupée quand la tension V commence à décroître après avoir atteint une valeur maximale V_{\max} , et

M_2 est reconnecté à D_1 qui restaure dans M_2 la charge Q perdue.

10 10. Dispositif (300) de traitement du signal produit par un détecteur de particules (2), caractérisé en ce qu'il comprend deux circuits (7', 7'') selon la revendication 9 recevant tous deux l'impulsion de tension V issue d'une unité de conversion (1), les paramètres de ces deux circuits (7', 7'') étant réglés indépendamment l'un de l'autre, et un soustracteur analogique (4) capable produire un signal de sortie équivalent à la différence Q entre les
15 charges analogiques respectives Q' et Q'' transférées sur les seconds récepteurs de charge respectifs D'_2 et D''_2 contenus dans lesdits circuits (7', 7'').

11. Dispositif de traitement des signaux produits par un ensemble de détecteurs de particules, caractérisé en ce qu'au moins l'un de ces signaux
20 est traité au moyen d'un dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 10.

12. Dispositif de traitement de signaux selon l'une quelconque des revendications 8 à 11, caractérisé en ce que lesdites particules sont des photons.

25 13. Appareil de radiologie, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 11.

14. Appareil d'imagerie vidéo, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 11.

15. Appareil de fluoroscopie, caractérisé en ce qu'il comprend au
30 moins un dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 11.

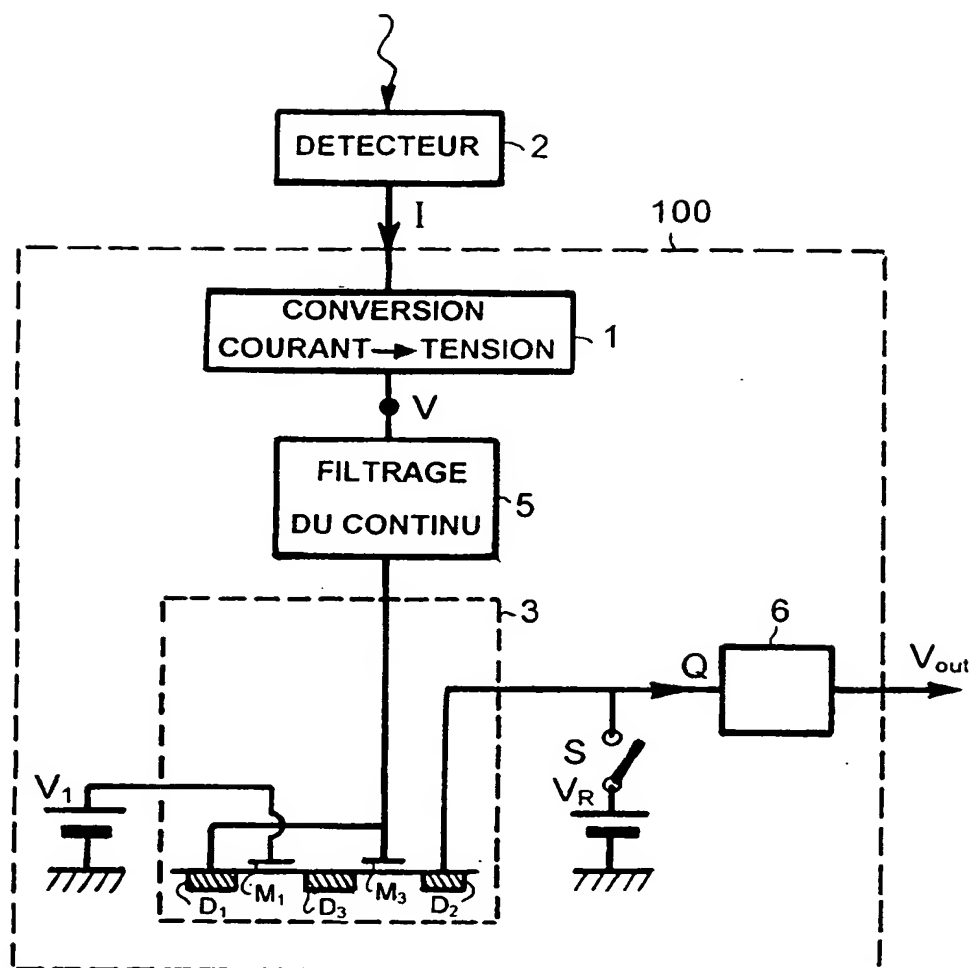


FIG.1

2/9

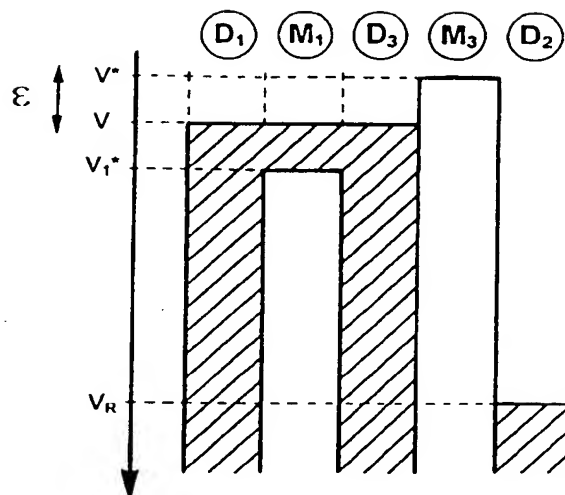


FIG. 2a

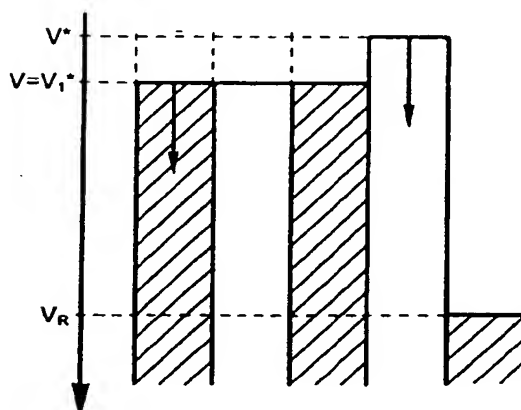


FIG. 2b

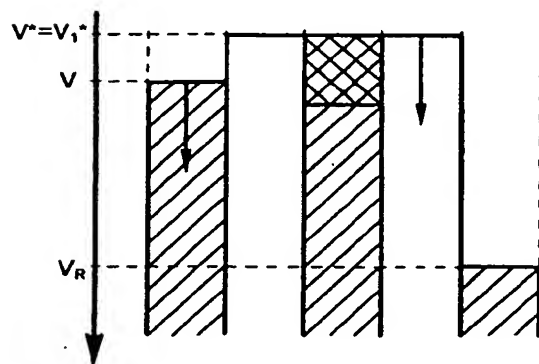


FIG. 2c

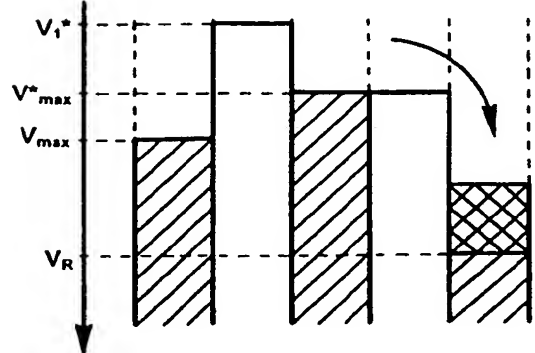
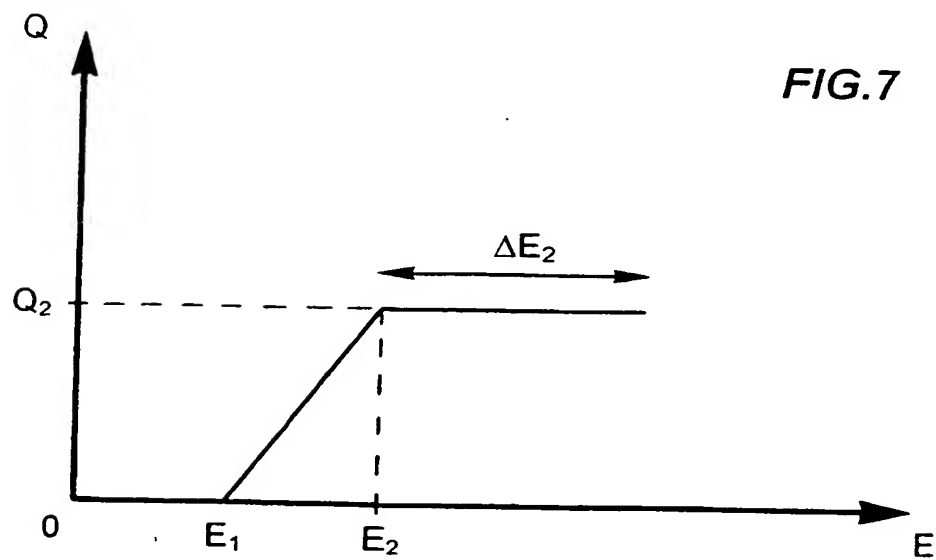
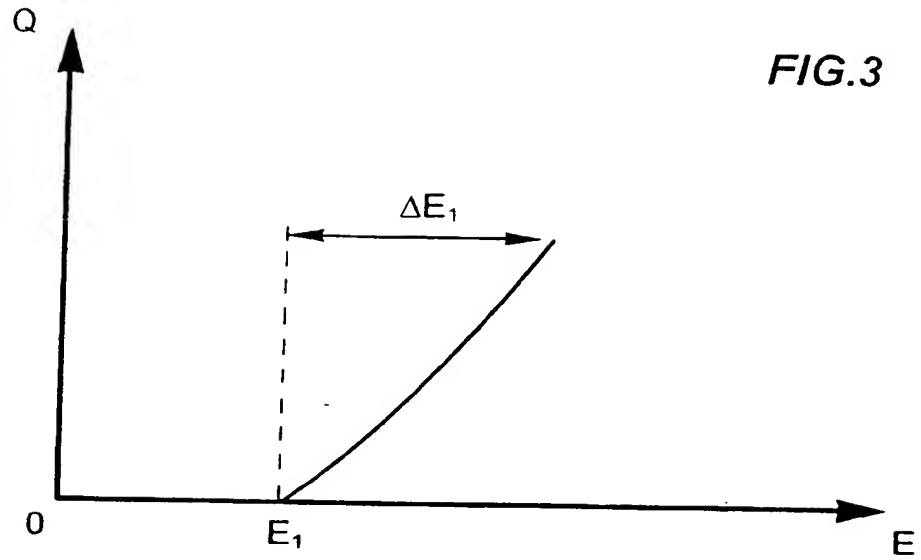


FIG. 2d

3/9



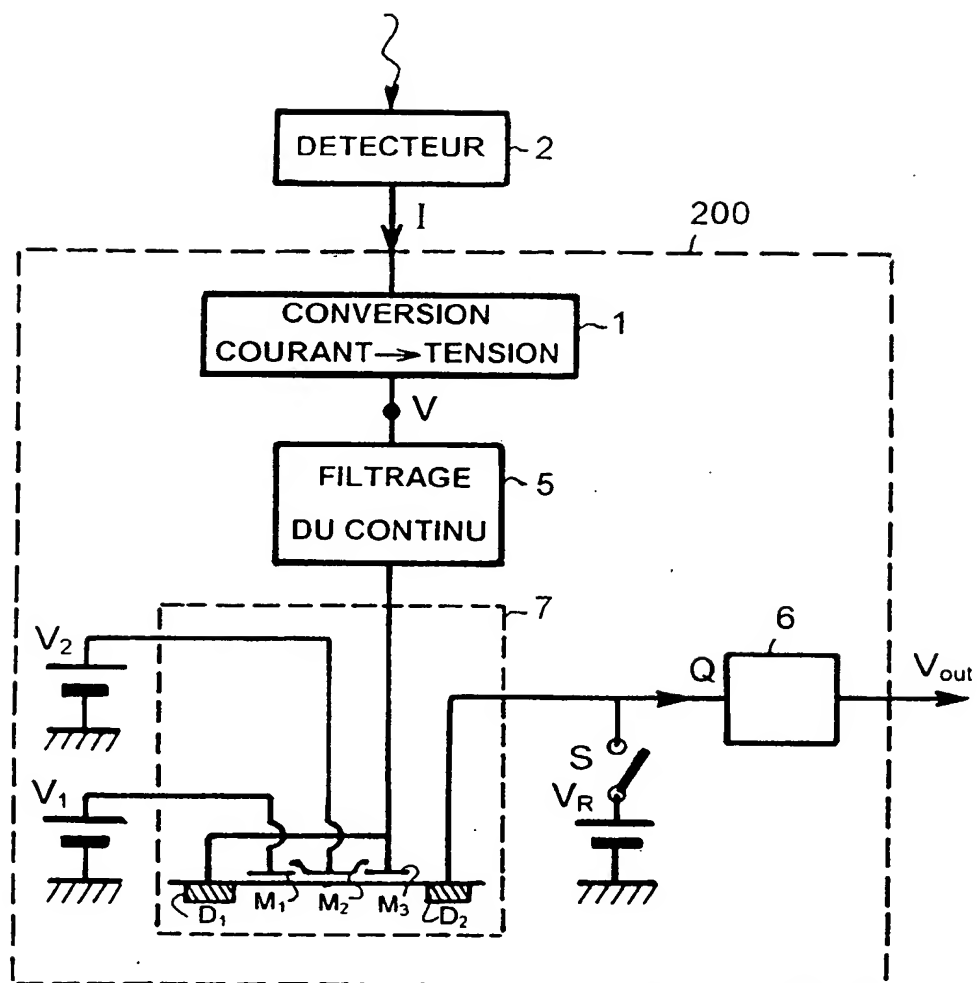


FIG. 4

5/9

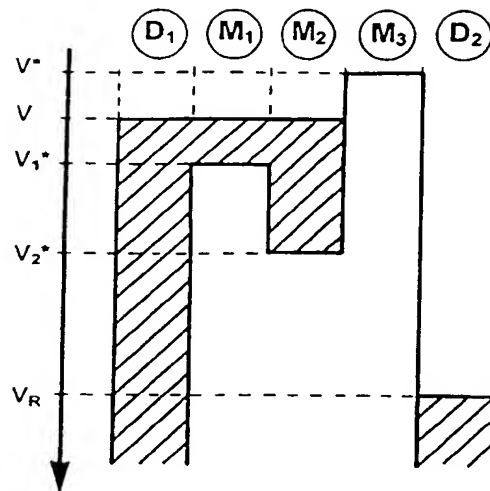


FIG. 5a

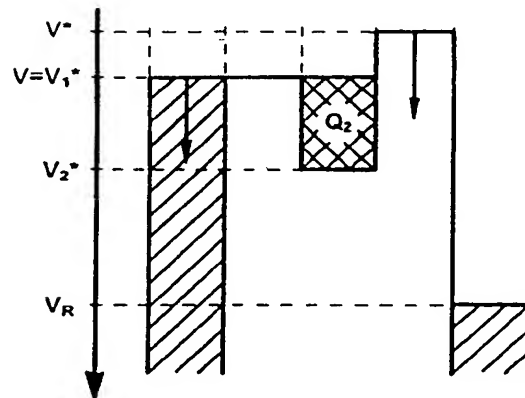


FIG. 5b

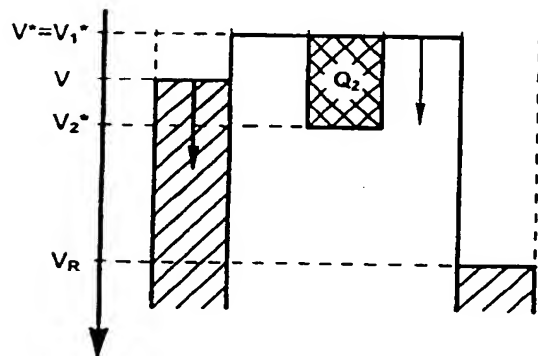


FIG. 5c

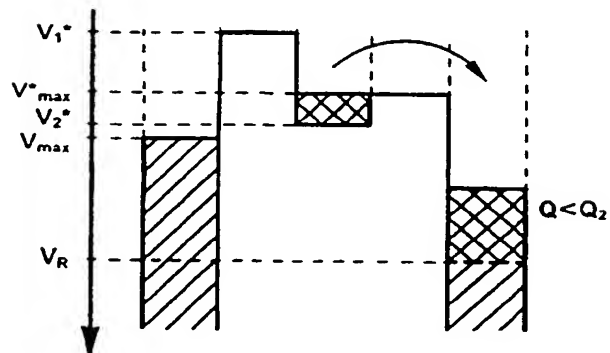


FIG. 5 d

6/9

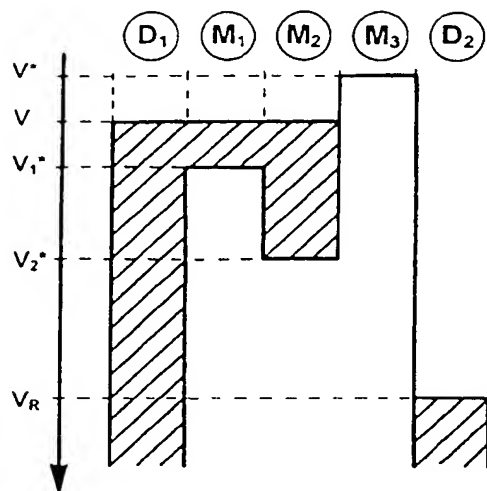


FIG. 6a

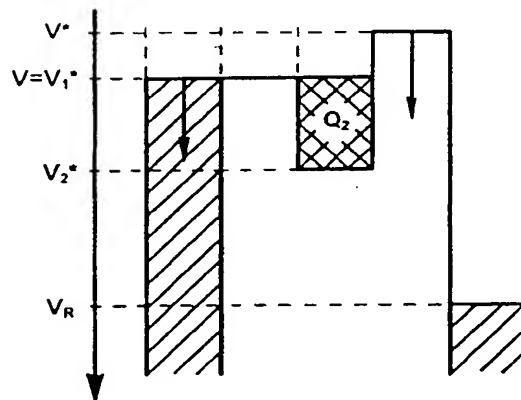


FIG. 6b

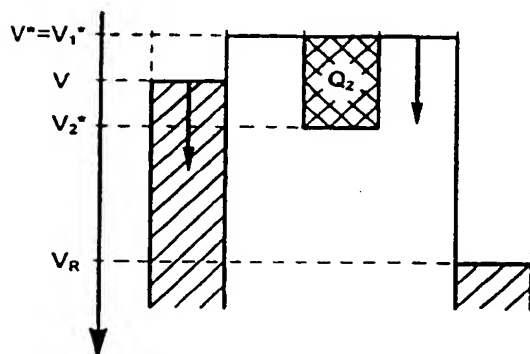


FIG. 6c

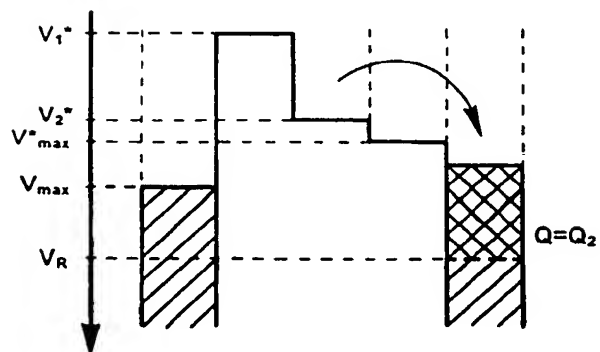
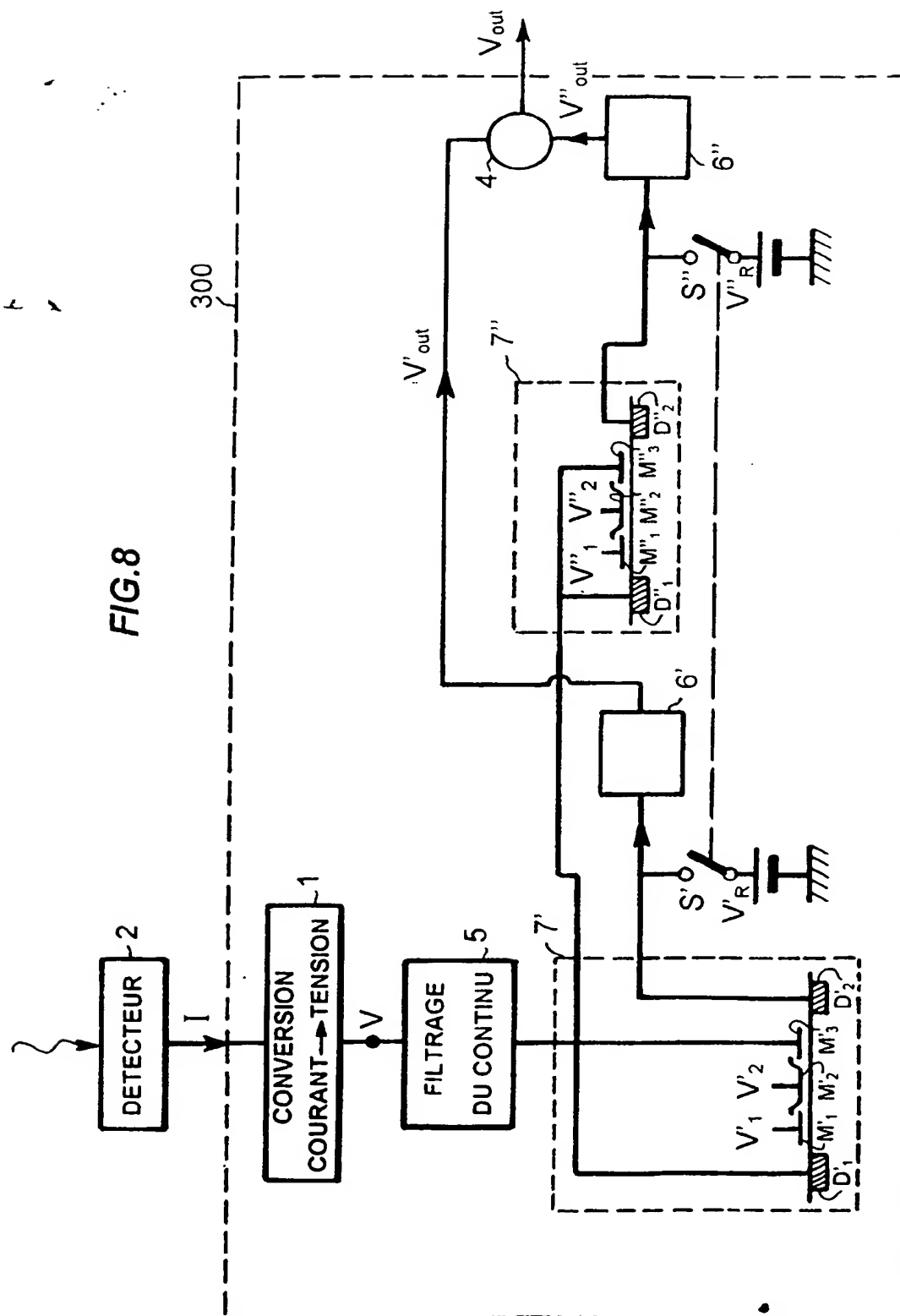
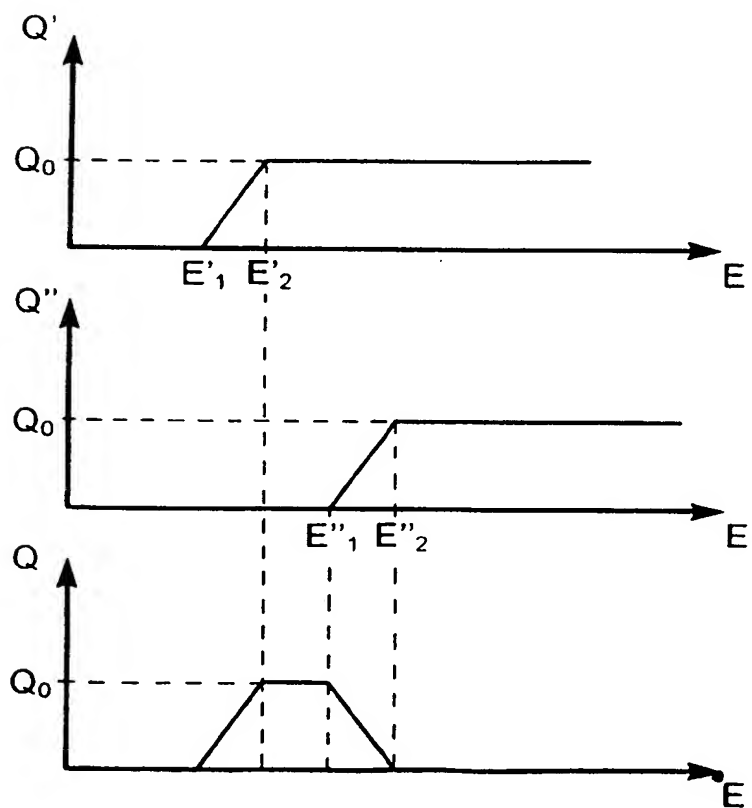
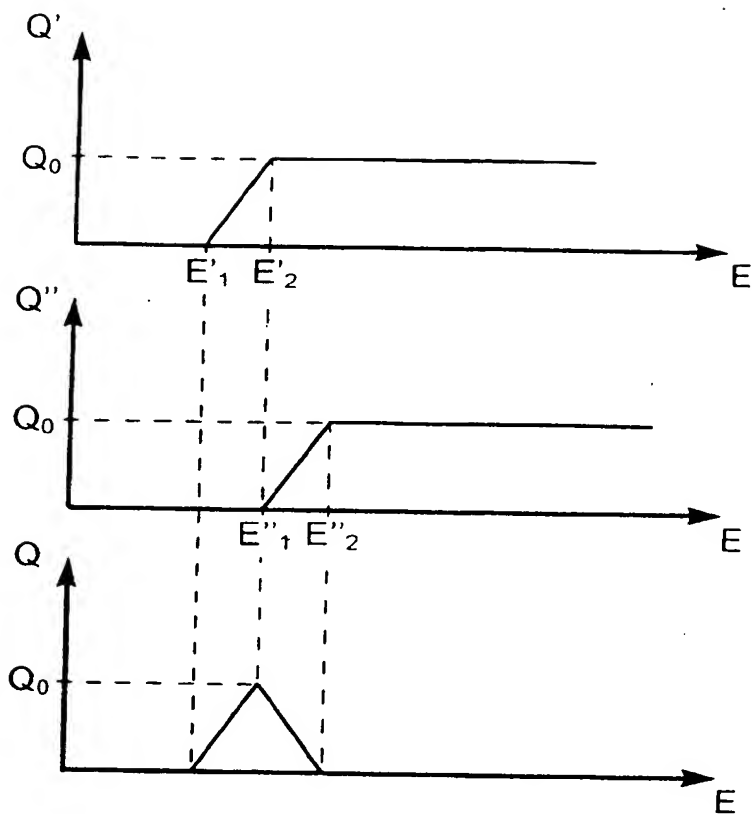


FIG. 6d

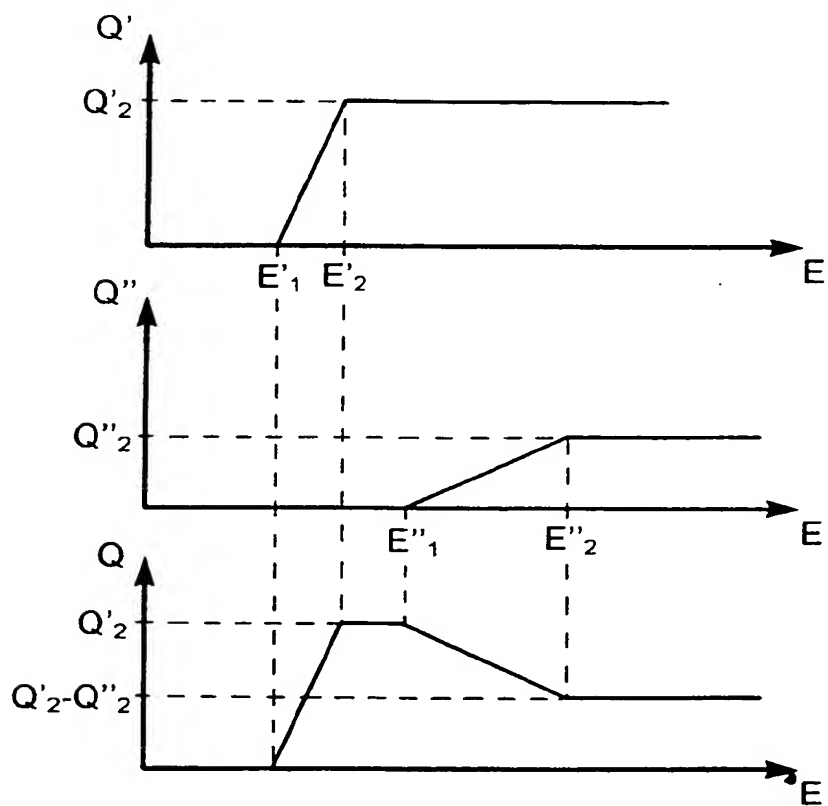
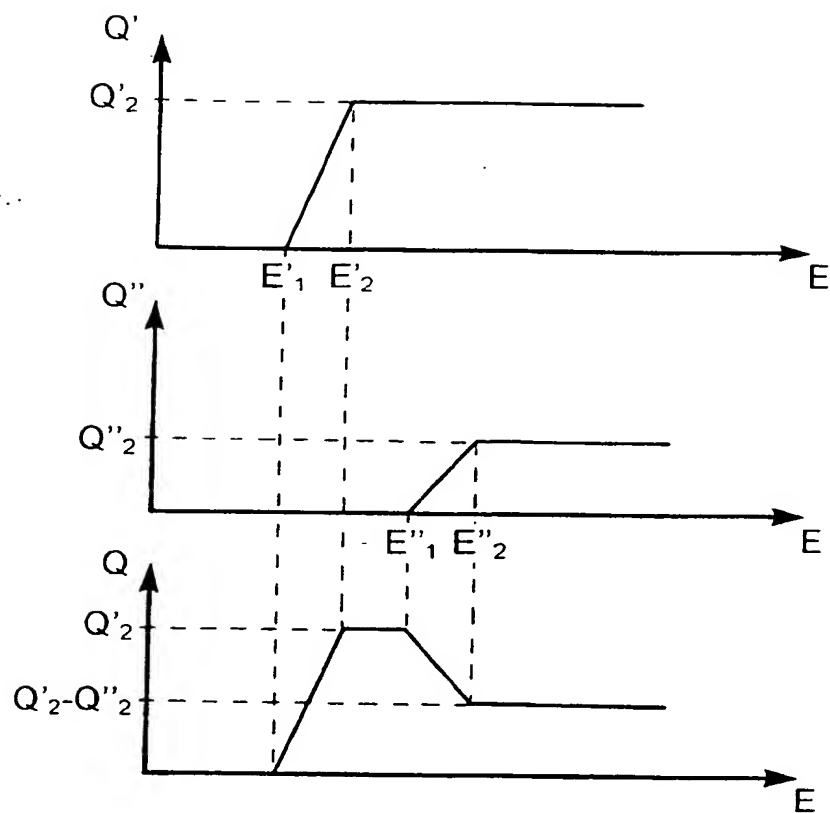
FIG.8



8/9



9/9





RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 600326
FR 0017220

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	US 4 036 057 A (MORAIS CARROLL F) 19 juillet 1977 (1977-07-19) * figure 2 *	1	G01T1/24 H04N5/30
A	---	2	
Y	DE 37 18 305 C (RHODE & SCHWARTZ & CO KG) 22 septembre 1988 (1988-09-22) * figure 2 *	1	
A	---	8	
A	US 5 854 489 A (VERGER LOICK ET AL) 29 décembre 1998 (1998-12-29) * page Q *	9	
A	---	1	
	BARNETT T G: "BUILD LOW-COST WINDOW COMPARATOR" ELECTRONIC DESIGN, PENTON PUBLISHING, CLEVELAND, OH, US, vol. 39, no. 13, 11 juillet 1991 (1991-07-11), pages 136-137, XP000364927 ISSN: 0013-4872 * le document en entier *		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7) G01R G01T
A	US 5 204 631 A (HOBBS PHILIP C D) 20 avril 1993 (1993-04-20) * abrégé *	1	

Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
14 novembre 2001		Vytlacilová, L	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

1

EPO FORM 1503 12.98 (P04C14)

THIS PAGE BLANK (USPTO)